

До Спеціалізованої вченої ради
Д 08.084.03 при Національній
металургійній академії України
49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Селегея Андрія Миколайовича «Розвиток наукових основ управління завантаженням доменної печі шихтовими матеріалами з урахуванням їх дисперсності», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Розвиток металургійної промисловості України та зарубіжжя в сучасних економічних та технологічних умовах потребує постійної модернізації та вдосконалення з метою зниження енергоємності та екологічного навантаження на навколишнє середовище. Слід зазначити, що, незважаючи на поточну кризову ситуацію, металургійний комплекс поки залишається провідним драйвером національної промисловості, грає важливу роль в наповненні дохідної частини торгового балансу, забезпечує життєдіяльність багатьох регіонів і міст країни. Сьогодні переважна більшість технологій отримання сталі в Україні та світі потребує доменного чавуну. Перед усім це виплавка сталі у конвертерах та електропечах. Вказані технології потребують безперервного постачання рідкого чавуну у великих об'ємах. Фахівці зазначають, що у як у близькій так і далекій перспективі цей тренд зберігатиметься.

Важливим завданням ефективного розвитку доменного виробництва є підвищення продуктивності, зниження питомої витрати сировини та енергоносіїв. В свою чергу розв'язок цього завдання можливий заходами як

оновлення основного устаткування для завантаження доменних печей так вдосконаленням режимів його роботи.

Основним завданням раціонального режиму завантаження є підвищення ефективності використання теплового та хімічного потенціалу відновлювальних газів в товщі стовпа шихтових матеріалів печі. Застосування безконусних завантажувальних пристроїв в значній мірі розширило можливості з розподілу шихтових матеріалів на колошнику. Але на сьогоднішній день можливості оперативного корегування розподілу шихтових матеріалів на колошнику за допомогою безконусних завантажувальних пристроїв використовуються в недостатньому обсязі. Технологічні та шихтові умови роботи доменної печі постійно змінюються. Для ефективного нівелювання негативних наслідків цього фактору потрібен чіткий алгоритм корекції управляючих впливів завантажувального пристрою печі, який би базувався на комплексному аналізі не тільки фактичного складу колошникових газів, а й фактичного розподілення шарів шихтових матеріалів вздовж радіусу колошника. Це набирає найбільшу актуальність для доменних печей великого корисного об'єму.

Найважливішою властивістю завантажувального пристрою є можливість корекції параметрів роботи в процесі вивантаження доз матеріалів для забезпечення необхідного значення рудного навантаження конкретної доменної печі.

Розвиток засобів автоматизації у сукупності із застосуванням систем моніторингу технологічних параметрів доменної плавки утворює новий значний потенціал для вирішення важливої наукового завдання – підвищення продуктивності та зниження питомої витрати енергоносіїв доменного процесу. Використання в повній мірі цього потенціалу потребує комплексного підходу для оперативної корекції розподілення матеріалів на колошнику сучасної доменної печі.

Одержані в дисертаційній роботі наукові і практичні результати орієнтовані на покращення стану навколишнього середовища, раціональне

використання природних ресурсів, сировини і палива та підвищення техніко-економічних показників плавки є актуальними та своєчасними.

2. Наукова новизна отриманих результатів

В дисертації виконано комплекс теоретичних розробок та експериментальних досліджень, направлених на підвищення продуктивності доменної печі, зниження питомої витрати коксу та зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок раціоналізації газодинамічних умов роботи колошникової зони доменної печі і якості розподілення шихтових матеріалів. Отримані в роботі результати є теоретичним узагальненням нових аналітичних підходів до корегування параметрів завантаження доменних печей з урахуванням гранулометричних характеристик шихтових матеріалів, що використовуються.

На основі проведених досліджень в роботі отримані наступні **наукові результати**:

Запропоновано нове вирішення наукової проблеми, що полягає в корекції режимів завантаження і вдосконаленні технології доменної плавки за рахунок використання розробленої аналітичної моделі, де враховуються фактичні параметри гранулометрії шихти та рудне навантаження. Це дало можливість виявляти шляхи зменшення витрат коксу і збільшення продуктивності агрегату за рахунок раціональної зміни параметрів шихти й розподілу рудних навантажень по радіусу колошника доменної печі.

Вперше встановлено закономірності зміни швидкості шихтових матеріалів по трактам завантажувального пристрою в залежності від гранулометричного складу потоку доменної шихти при використанні засипних апаратів конусного і безконусного типів, які полягають у реалізації врахування крупності шихти при визначенні координати падіння потоку на поверхню засипу. Це дозволяє підвищити точність прогнозування

газодинамічного режиму роботи доменної печі, знизити витрату коксу і природного газу, а також збільшити міжремонтні терміни експлуатації печі

Вперше встановлено закономірності комплексного впливу конструктивно-технологічних параметрів систем завантаження доменних печей на рельєф шихти на колошнику. Це дозволило здійснювати оперативну корекцію рельєфу шихти на колошнику, що призвело до скорочення витрат енергоносіїв на 1,5%

Вперше встановлені інтегральні закономірності між кінематичними параметрами потоку шихтових матеріалів по елементам систем завантаження і їх пропускною спроможністю. Раніше такі дані носили фрагментарний характер. Це дозволило підвищити ефективність завантаження доменних печей і, як наслідок, підвищити показники плавки в цілому.

Вперше експериментально встановлено і теоретично обґрунтовано, що корекцію рельєфу шихтових матеріалів на колошнику можна проводити як окремо зміною кута нахилу лотка-розподільника і величиною відкриття шихтового затвора бункера БЗП, так і спільною зміною зазначених параметрів.

Вперше отримано залежності для визначення фактичної крупності шихтових матеріалів, що завантажуються безпосередньо на поверхню засипу колошника при використанні завантажувальних пристроїв конусного та безконусного типу.

Розроблено алгоритм для ефективного завантаження шихтовими матеріалами доменних печей, обладнаних безконусними завантажувальними пристроями та системами моніторингу поверхні засипу шихтових матеріалів на колошнику

3. Практичне значення результатів роботи

Отримані в роботі наукові відомості про особливості перебігу динамічних процесів при русі шихтових матеріалів трактами завантажувальних пристроїв, процеси формування рудного навантаження;

процеси відновлення залізовмісної частини шихти стали основою для розробки інноваційних технологічних рішень та рекомендацій щодо залучення оперативного корегування ходом доменної печі шляхом раціоналізації параметрів завантаження доменної печі.

Розроблені наукові основи корекції програм завантаження доменних печей, що забезпечують раціональні режими плавки на конкретних використовуваних шихтових умовах.

Встановлено та експериментально підтверджено, що для ефективного управління потоками шихтових матеріалів в трактах завантаження необхідно змінювати не тільки кут нахилу лотка-розподільника безконусного завантажувального пристрою, але і кут відкриття шиберного затвора накопичувального бункера. Це дає можливість найбільш точно забезпечувати рудне навантаження по радіально-кільцевих зон колошника доменної печі.

Запропоновано новий метод визначення раціональних параметрів шарів шихтових матеріалів в сухій зоні доменної печі, що забезпечують найкращу газодинаміку при існуючих шихтових умовах.

Запропоновано новий алгоритм роботи автоматичної системи управління завантаженням доменної печі, що дозволяє коригувати програми завантаження для конкретних умов, а також при їх активному зміні.

Підтверджена ефективність техніки моніторингу процесу динамічного зміни профілю засипу шихтових матеріалів на колошнику доменної печі за допомогою радарної техніки. Розроблений пілотний алгоритм завантаження і його корекції впроваджений в систему автоматичного управління завантаженням доменної печі успішно випробуваний на моделі. Основні положення дисертації використовуються в навчальному процесі під час виконання магістерських та бакалаврських дипломних робіт студентами Національної металургійної академії України. Розроблені в дисертаційній роботі методики та технічні рішення щодо визначення раціональних параметрів завантаження доменних печей, технології ведення плавки і основних характеристик завантажувального пристрою, дозволяють

аналітично визначати параметри для коригування програм завантаження і створюють основу для повної автоматизації процесу завантаження. Методики і технічні рішення, отримані в даній роботі, впроваджені на ПрАТ "ДніпроГідроМаш", а також на Золотоніському машинобудівному заводі ім. І.І. Лепсе, з їх допомогою проводиться проектування сучасних завантажувальних пристроїв доменних печей, які плануються до експлуатації на ПАТ ДМКД, ПАТ "Азовсталь" та ПАТ "Запоріжсталь".

4. Достовірність наукових положень дисертації

Отримані у дисертації результати характеризуються достатньо повною аргументацією наукових положень, використанням сучасних методів дослідження, підтверджуються аналізом науково-технічної літератури. Цьому сприяло використання широкого методологічного інструментарію та літературної бази. Теоретичні дослідження виконані при коректному застосуванні методів математичного моделювання, статистичного і технологічного аналізу. Достовірність експериментальних даних забезпечується використанням сучасних засобів і методик досліджень. Отримані результати і висновки базуються на фундаментальних положеннях теорії металургійних процесів, теорії гранульованих потоків сипучого середовища, а також газодинаміки доменної плавки.

Достовірність отриманих результатів забезпечується відповідністю між теоретичними висновками та практичними результатами.

5. Повнота викладення результатів досліджень у публікаціях

За темою дисертації опубліковано 35 робіт, у тому числі: 1 монографія, 21 статей у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених переліком ДАК України, 7 доповідей на наукових конференціях, отримано 4 патенти України, 3 статті увійшли до наукометричних баз Scopus і WoS. Кількість та якість публікацій, їх повнота відповідають вимогам, що висунуто ДАКом до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеності

Дисертаційна робота Селегея А.М. складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 361 сторінку, з них: 348 сторінок основного тексту, 101 рисуноків, 38 таблиць і додатки. Список використаних джерел складається з 220 найменувань.

У вступі показано актуальність теми, мета дослідження, визначені задачі, об'єкт і предмет досліджень, сформульована наукова новизна отриманих результатів та їх практична цінність.

У першому розділі проаналізовано особливості проблеми оперативного управління режимами завантаження сучасних доменних печей, обладнаних системами спостереження за поверхнею шихтових матеріалів на колошнику в реальному часі. На теперішній час досконалою методикою визначення параметрів розподілення шихтових матеріалів на колошнику доменної печі є так звана «інженерна методика», розроблена під керівництвом академіка Большакова В.І. у Інституті чорної металургії її імені З.І.Некрасова НАН України. Вказана методика використовується для визначення координат падіння потоку шихти, що зсипається з лотка безконусного завантажувального пристрою, на поверхню засипу колошника. Недоліками методики є неможливість комплексного врахування гранулометрії, виду матеріалу, ступеня відкриття шиберу та кута нахилу лотка. Це призводить до того, що отримані координати відрізняються від фактичних. Тому подальший аналіз з урахуванням показників газодинаміки може бути некоректним. У зв'язку з цим методика потребує удосконалення.

Виявлено, що в існуючих на сьогодні методиках розрахунку параметрів розподілення шихти на колошнику доменної печі відсутня можливість інтегрального врахування як ступеня відкриття шиберного затвору накопичувального бункера, так і кута нахилу лотка-розподільника відносно вертикальної вісі печі. Окрім того, використовуючи відомі методики, враховувати такі параметри як гранулометрія шихтових матеріалів не представляється можливим. Визначено основні недоліки систем

завантаження доменних печей як з конусними так і безконусними завантажувальними пристроями, сформульовані подальші напрямки раціоналізації керуючих параметрів.

Показано, що в інтегральному вигляді проблема вдосконалення технології доменної плавки на основі даних про оперативний стан розподілення шихтових матеріалів на колошнику та показників газодинаміки не вирішувалась. Обґрунтовано подальші напрямки досліджень щодо вдосконалення технології завантаження доменної печі з використанням інформації, отриманої за допомогою радарних комплексів, що дозволило сформулювати основні завдання роботи.

У другому розділі розроблено теоретичні основи з визначення динамічних характеристик потоків шихтових матеріалів при їх русі по направляючим елементам завантажувальних пристроїв з урахуванням їх дисперсності. Обґрунтовано застосування рівняння Бернуллі для потоку гранульованого матеріалу у випадку його вільно-дисперсного руху. Це дало можливість у розрахунках врахувати наступні фактори, що є важливими для завантажувальних пристроїв: фазові стани потоку шихтових матеріалів (твердого тіла, в'язко-пластичне, вільно-дисперсне); обертання лотка щодо вертикальної осі, гранулометричні параметри та вид шихти.

Розраховані параметри, які необхідно знати для застосування отриманих методів визначення динамічних характеристик руху шихтових матеріалів по трактах завантажувальних пристроїв доменних печей. Розроблено методику визначення вказаних параметрів для двокомпонентної суміші шихтових матеріалів. Це дало можливість максимально наблизити теоретичні значення динамічних параметрів до реальних.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений застосуванню отриманих теоретичних даних для опису процесу руху шихтових матеріалів трактами завантажувальних пристроїв. Розроблені у другому розділі наукові матеріали стали підґрунтям для визначення фактичної частки дрібної фракції шихти, що безпосередньо дістається поверхні засипу колошника доменної

печі. Причому методики розроблені як для конусних так і безконусних завантажувальних пристроїв.

У розділі також розроблено аналітичну методику, яка дозволяє враховувати комплексний вплив зміни ступеня відкриття шиберу бункера завантажувального пристрою та кута нахилу лотка-розподільника на розподіл шихти на колошнику, причому вказані фактори можуть бути враховані як спільно, так і окремо.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи комплексно проаналізовані основні фактори, що впливають на газорозподіл у колошниковій зоні доменної печі. Розглянуто розподілення рудного, газового навантаження вздовж радіусу колошника печі та пов'язано їх з показниками вмісту CO та CO₂ в колошниковому газі. Встановлено, що для раціональнішого розподілення шихти важливо мати інформацію щодо розподілення газового навантаження та з урахуванням товщини шарів розраховувати раціональне рудне навантаження вздовж радіусу колошника.

У розділі також отримана методика розрахунку фактичного рудного навантаження на основі даних систем моніторингу за поверхнею засипу шихти на колошнику. Для спрощення розрахунків в роботі розроблено програмне забезпечення для визначення рудного навантаження з урахуванням даних радарних систем моніторингу на колошнику.

У **п'ятому розділі** розглянуто вплив зміни фактичного рудного навантаження на продуктивність доменної печі та витрату коксу. Аналіз фізико-хімічних процесів відновлення заліза у межах колошникової зони дав змогу виявити кількісний вплив збільшення вмісту двоокису вуглецю в колошниковому газі на техніко-економічні показники доменної плавки. Таким чином з'явилась можливість прогнозування зміни питомої витрати коксу та продуктивності печі у разі зміни рудного навантаження. Раціоналізація параметрів завантаження доменної печі дає збільшення загального рудного навантаження, завдяки чому збільшується продуктивність та знижується витрата коксу. На підставі отриманих

наукових результатів можливий прогнозний розрахунок економічного ефекту від запровадження заходів стосовно реалізації корекції параметрів завантаження доменної печі в конкретних сировинно-технологічних умовах.

Шостий розділ дисертаційної роботи присвячений розробці алгоритмів автоматичної корекції режимів завантаження доменних печей, що обладнані системою радарного моніторингу за поверхнею засипу на колошнику. Запропонована послідовність дає можливість розраховувати в автоматичному режимі корегувальні значення керуючих впливів завантаження доменної печі з урахуванням крупності шихтового матеріалу на основі даних стосовно фактичного рудного навантаження та показників газодинаміки колошникової зони. Метод корекції завантаження може бути інтегрований автоматичну систему управління веденням доменної плавки для оперативного реагування на зміну шихтових умов конкретної доменної печі.

В цілому дисертаційна робота побудована послідовно та з логічним викладенням наукових матеріалів дослідження та оформлена відповідно до існуючих норм, що висуваються до докторських дисертацій. Автореферат дисертації та опубліковані праці у повній мірі відображають основний зміст роботи.

7. Загальні зауваження до дисертаційної роботи:

1. В першому пункті наукових положень автореферату дисертації слід було б уточнити що відбувається зміна швидкості саме *руху* шихтових матеріалів.

2. У третьому пункті наукових положень дисертанта зазначено, що встановлені інтегральні закономірності між кінематичними параметрами потоку шихтових матеріалів по елементам систем завантаження та їх пропускною спроможністю. Не зрозуміло які саме показники доменної плавки підвищуються за рахунок вказаного вище?

3. Автор використовує безрозмірний коефіцієнт, що залежить від форми частинок, кутову швидкість обертання лотка завантажувального

пристрою доменної печі, враховує геометрію каналу руху сипучого матеріалу, його крупність. Не зрозуміло, де у математичних залежностях знаходяться коефіцієнти, що враховують саме тип шихтового матеріалу (чи достатньо буде значень їхньої насипної маси та гранулометричного складу).

4. П'ятий розділ дисертаційної роботи перенасичений обґрунтуванням температурної зони аналізу процесів відновлення заліза в доменній печі. На мою думку слід більше концентрувати увагу читача на науковому матеріалі, який безпосередньо розроблений автором та має практичну цінність при прогнозуванні.

5. Шостий розділ необхідно доповнити розрахунками економічного ефекту заходів, що пропонуються автором для практичного застосування у разі корегування ведення доменної плавки за допомогою раціоналізації завантаження.

6. Також шостий розділ бажано розширити в розрізі автоматизації процесу завантаження, тобто отримані алгоритми повинні бути більш широко пояснені та розкриті. В додаток до цього роботу б прикрасив приклад застосування алгоритму корекції для доменної печі, що обладнана двохконусним завантажувальним пристроєм.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, яка виконана на достатньо високому науковому рівні.

8. Висновок про відповідність дисертації вимогам “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань...”

Дисертаційна робота Селегея А.М. за рівнем теоретичних і експериментальних досліджень є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності дозволяють вирішити важливу проблему вдосконалення доменної плавки в цілому за рахунок підвищення ступеня використання теплової та хімічної енергії газового потоку шляхом його раціонального розподілу по поперечному перерізу доменної печі. Результати роботи є теоретичним

узагальненням нових наукових підходів до контролю та управління технологією плавки в залежності від впливу абсолютних значень та коливань показників паливно-сировинних умов та параметрів дуттьового режиму плавки на показники роботи доменних печей.

Дисертація присвячена дослідженню процесів завантаження доменних печей, а також розробці наукових основ для автоматичного ведення доменної плавки. У дисертаційній роботі виконано комплекс теоретичних розробок і експериментальних досліджень, присвячених динаміці руху шихти по трактах завантаження сучасних доменних печей, а також розробці теоретичних основ автоматичного коригування ведення доменної плавки на підставі даних газодинаміки колошникової зони доменної печі.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів” та пп. 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння наукового звання старшого наукового співробітника”, а її автор Селегей Андрій Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів”.

Офіційний опонент

Б.П. Довгалюк

професор кафедри Електроніки

Дніпровського державного

технічного університету,

д.т.н., професор

Підпис професора Б.П. Довгалюка засвідчую

повідним фото.



т.п. Селегей Андрій Миколайович